

УДК 621.396

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА СИГНАТУРУ ТЕПЛООВОГО ОБЪЕКТА

© 2015 А.С. Перцович, Б.В. Скворцов

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва
(национальный исследовательский университет)

Поступила в редакцию 04.04.2015

В статье дан обзор главных действующих факторов окружающей среды на сигнатуру теплового объекта во время ее прохождения от источника излучения до объекта назначения. Дано уравнение для вычисления энергетической яркости под действием факторов окружающей среды с учетом ряда допущений.

Ключевые слова: факторы, окружающая среда, сигнатура теплового объекта.

Разработка и оптимизация современных оптико-электронных систем (ОЭС) наблюдения за передвижением объектов, в атмосфере и в космосе, требует их исследования в широких областях спектра, от ультрафиолетовой до инфракрасной. Одной из задач при создании ОЭС, например систем защиты воздушных судов, является расчёт яркостных характеристик объектов, результаты которых можно применить в пеленгационной аппаратуре идентификации и имитации объектов. В процессе моделирования входных сигналов ОЭС бортового комплекса обороны в отдельных случаях полезно использовать экспериментальные характеристики сигнатуры, в различных спектральных диапазонах. Большие возможности заложены в технологии имитационного моделирования на основе сигнатуры (режима) излучения объекта. Имитаторы движущихся тепловых объектов являются основным инструментом для оценки эффективности ОЭС, так как позволяют оценить работоспособность последних в широком диапазоне условий их применения при решении задач обнаружения, сопровождения, распознавания наземных и воздушных целей.

Исходные данные для математического и полуфизического моделирования яркостных изображений объектов задаются не только их чертежами, угловыми и спектральными характеристиками отражения и излучения материалов их покрытий, скоростью полета, положением в атмосфере (высота, ориентация), высотой и ориентацией Солнца относительно объекта, но и климатическими и атмосферными условиями (время года, метеорологическая дальность види-

мости). Рассматриваемые объекты при движении в атмосфере находятся в термодинамическом взаимодействии с окружающей средой, и яркостные изображения их поверхности в заданных спектральных диапазонах определяются излучением составных частей объекта. Такие факторы как спектральная излучающая способность, пространственное и объемное распределение энергетической яркости, отражение и рассеяние солнечного света, зеркальное отражение и другие, оказывают влияние на излучение объекта. Все эти факторы учитываются при моделировании сигнатуры движущегося теплового объекта.

На рис. 1 изображены факторы, действующие на сигнатуру теплового объекта, при ее имитации, для отработки оптико-механического модуля применяющегося в системе защиты воздушного судна [1].

Во время распространения в атмосфере оптического сигнала имитации теплового объекта, значение характерных точек излучения сигнатуры (т. 1, 2, 3 на графике «а») в начальный момент отличается от характерных точек излучения сигнатуры (т. 1, 2, 3 на графике «б») в момент поступления сигнала сигнатуры в систему защиты воздушного судна при её отработке. Это связано не только со случайными изменениями оптических свойств сигнатуры такими как:

- случайные отклонения физических величин от их средних значений (флуктуации) фазы световой волны вследствие флуктуации показателя преломления атмосферы (мерцание, дрожание, размытие);

- искривление светового луча в среде с непрерывно изменяющимся показателем преломления (рефракция);

- изменения плотности потока по сечению пучка;

- нелинейные эффекты (возникают при большой мощности и короткой длительности оптического сигнала), но и главным образом связано с факторами окружающей обстановки

*Перцович Александр Сергеевич, инженер – конструктор
I категории ОАО «НИИ «Экран».*

E-mail: passamara@yandex.ru

*Скворцов Борис Владимирович, доктор технических наук,
профессор кафедры электротехники, научный руководи-
тель НИЛ «Аналитические приборы и системы».*

E-mail: aps@ssau.ru

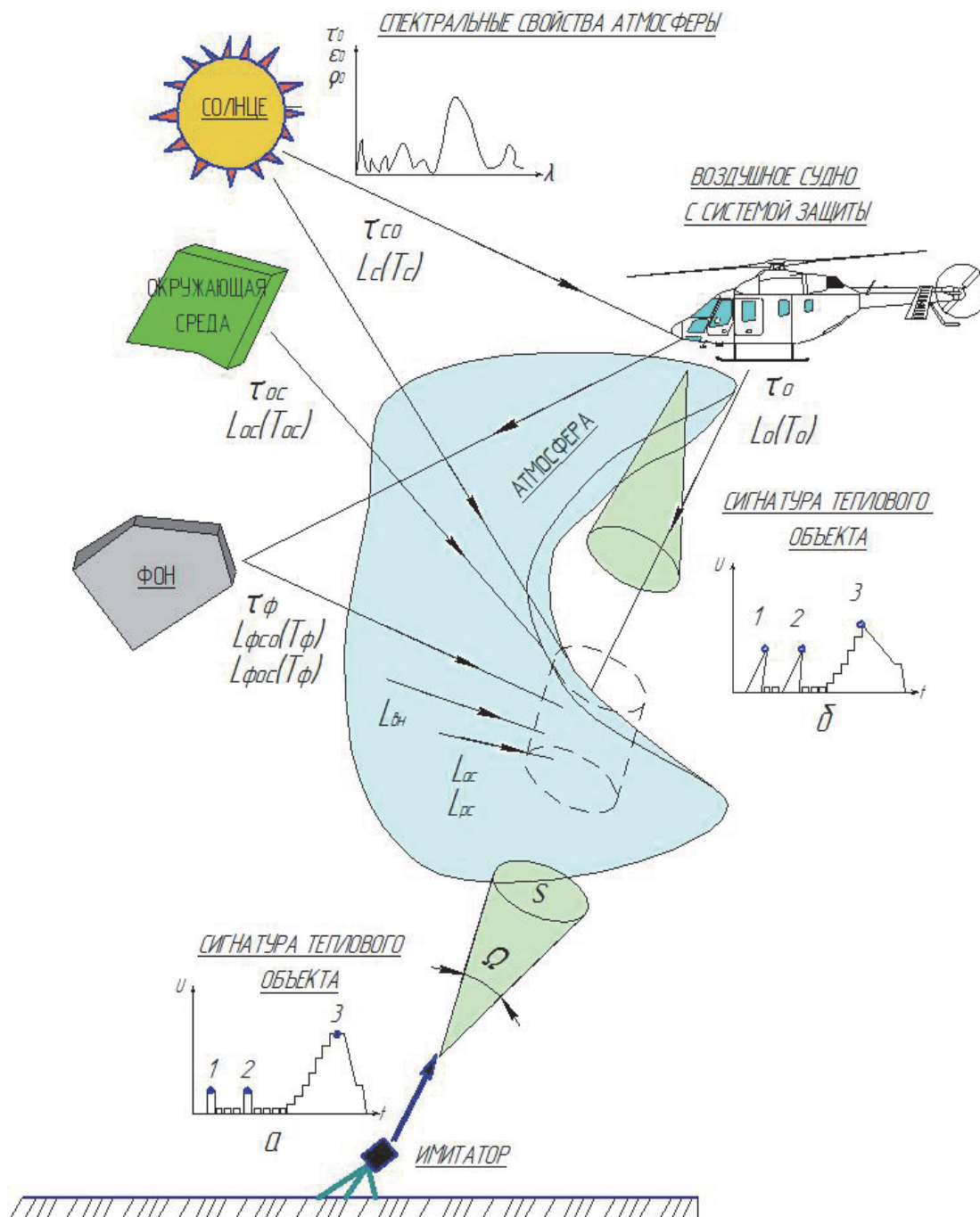


Рис. 1. Главные действующие факторы влияющие на имитацию сигнатуры теплового объекта:

- L_o – спектральная яркость излучения объекта;
- L_c – спектральная яркость излучения солнца (излучаемая и рассеянная);
- L_{oc} – спектральная яркость излучения окружающей среды;
- $L_{\phi co}$ – фоновое отраженное солнечное излучение от объекта;
- $L_{\phi oc}$ – фоновое отраженное самоиспускаемое отражение от объекта;
- T_o – температура объекта (в нашем случае воздушного судна);
- T_{oc} – температура окружающей среды;
- T_c – температура солнца;
- τ_o – коэффициент спектрального пропускания поверхности объекта;
- τ_{co} – спектральное атмосферное пропускание от солнца до объекта;
- τ_{oc} – спектральное атмосферное пропускание от окружающей среды до объекта;
- τ_{ϕ} – спектральное атмосферное пропускание от фона до объекта;
- $L_{\text{вн}}$ – внешнее атмосферное излучение на сигнатуру;
- L_{pc} –рассеянный солнечный свет;
- L_{ac} – атмосферная самосветимость;
- Ω – телесный угол излучения точечного источника, который находится как отношение площади поверхности излучения (S) к квадрату радиуса сферы излучения (r^2): $\Omega = S/r^2$

(рисунок 1). Воздействие на сигнатуру каждого из перечисленных параметров окружающей среды, приводит к её изменению в процессе имитации.

По данным НИИ комплексных испытаний оптико-электронных приборов и систем [2], в общем случае поток излучения, исходящий от объекта наблюдения в направлении ОЭС равен:

$$\Phi = \tau_{cp} k [\Phi_{об}(T) + R_{об} \Phi_{\phi}(T_{\phi}) + \tau_{об} \Phi_{\phi}(T_{\phi}) + \Phi_{\phi}(T_{\phi})], \quad (1)$$

где $\Phi_{об}(T)$ – поток испускаемый объектом при температуре T ; $R_{об}$ – коэффициент отражения объекта (в случае полупрозрачного объекта); Φ_{ϕ} – поток, испускаемый окружающим фоном, T_{ϕ} – температура фона; τ_{cp} – коэффициент пропускания среды; k – постоянная, определяемая геометрией объекта и конструктивными параметрами ОЭС, $\tau_{об}$ – коэффициент пропускания объекта (в случае полупрозрачного объекта).

При этом поток излучения является функцией $O(x, y, z; u, 0; X, t)$, зависящим от пространственных координат расположения объекта (x, y, z) , углов наблюдения по азимуту и возвышению $(u, 0)$, длины волны излучения λ , и времени t .

Однако данное выражение при быстром развитии информационных технологий, становится не совсем актуальным.

Королевской военной академией Бельгии и Технологическим институтом Рочестера [3] разработаны:

- система генерации синтетических изображений DIRSIG, предназначенную для выдачи имитационных изображений в диапазонах от видимого до термального ИК диапазона спектра.
- система OSMOSIS с программным обе-

спечением SAFIR, предназначена для фоно - реалистичной визуализации 3D изображений в спектральной полосе 0,3 - 25 мкм.

- система OSSIM, предназначена для имитации ИК эпизодов при разработке ракет. Там же приведены уравнения этих систем.

В работе [4] приведены некоторые свойства сигнатуры и дана характеристика типового временного хода излучения полета ракеты, а в работе [5] описан имитатор, применяющийся для обработки оптико-механического модуля ОЭС защиты воздушных судов. Теоретические основы распространения импульсных сигналов в различных средах рассмотрены в фундаментальных работах [6, 7], результаты которых требуют дальнейшей проработки для практического применения.

В статье предлагается уравнение энергетической яркости сигнатуры теплового объекта с учетом факторов окружающей среды, которые оказывают возмущающие воздействие, и с использованием некоторого допущения, а именно, согласно [8] угол между направлением излучения сигнатуры, и нормалью солнца и объекта, к площади излучения сигнатуры ($\cos\sigma$) можно принять приблизительно равным единицы ($\cos\sigma \approx 1$).

Принимая во внимание это допущение, а также то, что математическое моделирование сигнатуры теплового объекта выходит за рамки данной статьи, вычисление энергетической яркости сигнатуры в конечной точке (рис. 1, график «б») можно подытожить в виде проинтегрированного уравнения по длине волны λ , с учетом главных действующих факторов окружающей среды:

отраженный солнечный свет с тепловым излучением	энергетическая яркость траектории в атмосфере	перенесенный фон
---	--	---------------------

$$L_{\Delta\lambda} = \int_{\lambda} \varepsilon_0 L_0(T_0) \tau_o S d\lambda + \int_{\lambda} (L_{pc} + L_{ac}) S d\lambda + \int_{\lambda} \varepsilon_{oc} L_0(T_{oc}) \tau_{\phi o} \tau_{co} \tau_{oc} S d\lambda + \int_{\lambda} (L_c + L_o + L_{oc}) \tau_o d\Omega d\lambda + \int_{\lambda} (L_{\phi co} + L_{\phi oc}) S d\lambda \quad (2)$$

отраженное излучение	отраженный фон
-------------------------	-------------------

где ε_0 – способность к излучению в спектре поверхности объекта;
 ε_{oc} – способность к излучению в спектре окружающей среды;
 $d\Omega$ – дифференциал телесного угла, который, как известно из математики, равен: $d\Omega = \sin \theta d\theta d\phi$, где $d\theta$ – дифференциал угла к нормали элементарной площадки излучения dS ;
 $d\phi$ – дифференциал по азимуту.
 Остальные обозначения соответствуют обозначениям рис. 1.

Таким образом, для обеспечения технологии имитационного моделирования, было бы интересно разработать комплекс (совокупность) стандартизированных уравнений, которые были бы крайне полезным инструментом для проверки в лабораторных условиях работы, например, вычислителя оптико-механического модуля, использующегося для идентификации ракеты и ее сопровождения или других оптико-электронных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Бутузов В.В., Великанов С.Д., Гаранин С.Г., Иванов В.П., Кислицев А.В., Яцык В.С.* Способ и система защиты воздушных судов от ракет переносных зенитных ракетных комплексов, МПК F41H 11/02, G01S 7/495, № 2511513.
2. *Дмитриев Е.И., Степанов А.И.* Оптический имитатор нагретых движущихся объектов // Вопросы оборонной техники. Серия 16., 2005.
3. *Cornelius J. Willers, Maria S. Willers and Fabian Lapierre.* Signature Modelling and Radiometric Rendering Equations in Infrared Scene Simulation Systems // SPIE 8187, Technologies for Optical Countermeasures VIII, 81870R (7 October 2011). URL: <http://spie.org/Publications/Proceedings/Paper/10.1117/12.903352> (дата обращения 20.09.2014).
4. Блок имитаторов пуска ракет переносного зенитного ракетного комплекса / *В.В. Бутузов, Б.В. Скворцов, А.С. Перцович, В.А. Носиков, Т.А. Еришова* // Известия Самарского научного центра РАН. 2013. Т.15. №6. С.193-196.
5. *Перцович А.С., Скворцов Б.В.* Имитатор тепловых источников излучения. Известия Самарского научного центра РАН. 2014. Т.16. №6. С. 76-78.
6. *Гинзбург В.Л.* Распространение электромагнитных волн в плазме. М.: Наука, 1967. 684 с.
7. *Вайнштейн Л.А.* Распространение импульсов // Успехи физических наук. - 1976. - т.118. - вып.2. - С.339-369.
8. *Тимофеев Ю.М., Васильев А.В.* Основы теоретической атмосферной оптики. Учебно-методическое пособие, Санкт Петербург, 2007. С.23-39.

ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL FACTORS ACTING ON THE THERMAL SIGNATURE OF THE OBJECT

© 2015 A.S. Pertsovich, B.V. Skvortsov

Samara State Aerospace University named after Academician S.P. Korolyov
(National Research University)

The article provides an overview of the main actors of environmental factors on the thermal signature of the object while passing from the radiation source to a destinations. Given the equation for the calculation of the radiance under the influence of environmental factors taking into account a number of assumption.
Ключевые слова: Environmental Factors, Thermal Signature of the Object.